



Leseprobe

Richard Panek

Das 4%-Universum

Dunkle Energie, dunkle Materie und die Geburt einer neuen Physik

Übersetzt aus dem Amerikanischen von Hainer Kober

ISBN: 978-3-446-42689-4

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-42689-4>

sowie im Buchhandel.

Prolog

Es war an der Zeit, in den Kasten hineinzublicken.² Am 5. November 2009 nahmen Wissenschaftler an 16 Forschungsinstitutionen in aller Welt vor ihren Computerbildschirmen Platz und warteten auf den Beginn der Show: Zwei Softwareprogramme wurden von zwei Doktoranden – einem an der University of Minnesota, dem anderen am California Institute of Technology – gleichzeitig gestartet. Eine Viertelstunde lang durchforschten die beiden Programme die Daten, die tief unter der Erde in einer seit langem still gelegten Eisenmine im Norden Minnesotas erhoben worden waren. Während der vorangegangenen zwölf Monate hatte man mit hochempfindlichen Detektoren – tiefgekühlten Hohlräumen von Kühlschrankgröße, gegen kosmische Strahlen durch einen dreiviertel Kilometer Gestein und kompakte Bleihüllen abgeschirmt, das Innere fast bis zum absoluten Nullpunkt abgekühlt und mit einem Herz von Germaniumatomen bestückt – nach einem besonderen Stück des Universums gesucht. Die Daten dieser Suche waren augenblicklich an externe Rechner geschickt worden, wo sie, gemäß dem Protokoll einer "Blindanalyse", unsichtbar in einem "Kasten" blieben. Kurz nach neun Uhr vormittags CST begann die *Unblinding Party*.

In ihrem Büro an der Southern Methodist University ließ Jodi Cooley den Bildschirm nicht aus den Augen. Als Koordinatorin der Datenanalyse dieses Experiments hatte sie darauf geachtet, dass die Forscher zwei getrennte Programme geschrieben hatten, die von zwei unabhängigen Ansätzen ausgingen, sodass auch von hier aus keine Verzerrung der Auswertung möglich war. Außerdem hatte sie dafür gesorgt, dass

alle Mitarbeiter des Projekts – Physiker der Universitäten in Stanford, Berkeley und Providence (Brown University), in Florida, Texas, Ohio und der Schweiz – gleichzeitig an ihren Computern saßen. Zusammen wollten sie sich ansehen, wie die Daten auf ihren Bildschirmen erschienen: ein Diagramm pro Detektor, zwei Versionen pro Diagramm.

Nach einem kurzen Moment tauchten die ersten Diagramme auf. Nichts. Nichts. Nichts.

Dann, drei oder vier Minuten nach Beginn, der erste Nachweis, die erste Detektion – auf den gleichen Diagrammen in beiden Programmen. Ein Punkt auf einem Graphen. Ein Punkt innerhalb eines schmalen, vorgesehenen Bereichs. Eines Bereichs, in den keiner der anderen Punkte fiel.

Einige Minuten später erschien ein weiteres Punktepaar auf einem anderen Diagrammpaar in dem gleichen schmalen Bereich.

Und noch einige Minuten später waren die Programme durchgelaufen. Das war es also. Zwei Detektionen.

"Wow", dachte Cooley.

Wow, im Sinne von: Sie hatten tatsächlich etwas gesehen, obwohl sie erwartet hatten, das gleiche Ergebnis zu erhalten wie vor fast zwei Jahren beim letzten Blick in eine "Kiste" mit anderen Daten: nämlich nichts.

Wow, im Sinne von: Wenn man überhaupt Detektionen erhält, ist "zwei" eine frustrierende Zahl – statistisch verheißungsvoll, aber nicht ausreichend, um von einer Entdeckung zu sprechen.

Wow aber vor allem im Sinne von: Sie hatten möglicherweise den ersten flüchtigen Blick auf dunkle Materie geworfen – ein Teil des Universums, nach dem zu suchen noch vor Kurzem niemandem eingefallen wäre, weil wir nicht wussten, dass fast unser ganzes Universum fehlt.

Nicht zum ersten Mal erwies sich damit, dass uns der größte Teil des Universums verborgen ist. 1610 verkündete Galilei, er habe durch Beobachtung des Himmels mittels eines neuen Instruments – Fernrohr sollten wir es später nennen – entdeckt, dass das Universum mehr

enthalte, als das Auge fassen könne. Die 500 Exemplare der Druckschrift waren augenblicklich vergriffen; als ein Paket mit einem dieser Bücher in Florenz eintraf, sah sich der Empfänger im Nu von einer Menschenmenge umringt, die jedes Wort hören wollte. Denn bis dahin hatten die Mitglieder unserer Spezies auf dem Rücken gelegen, in den Nachthimmel gestarrt und angenommen, sie sähen alles, was es dort gebe. Doch dann entdeckte Galilei Berge auf dem Mond, Satelliten des Jupiters, Hunderte von Sternen. Plötzlich galt es, ein neues Universum zu erforschen, zu dem die Astronomen in den nächsten 400 Jahren noch einiges hinzufügten: neue Monde auf Bahnen um andere Planeten, neue Planeten um unsere Sonne, Hunderte von Planeten um andere Sterne, hundert Milliarden Sterne in unserer Galaxie, viele Hundert Milliarden Galaxien jenseits der unseren.

Im ersten Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts waren die Astronomen dann jedoch zu dem Schluss gekommen, dass selbst diese außergewöhnliche Zählung des Universums so weit am Ziel vorbeigehe wie der Fünf-Planeten-Kosmos, den Galilei von den Alten übernommen hatte. Das neue Universum besteht nur zu einem winzigen Bruchteil aus dem, was wir bisher für das Ganze gehalten hatten – dem Stoff, aus dem Sie und ich und mein Laptop und alle diese Monde und Planeten und Sterne und Galaxien bestehen. Der Rest – der weitaus größte Teil des Universums – ist ... wer weiß das schon?

"Dunkel" nennen ihn die Kosmologen und verwenden damit einen Begriff, der als endgültige semantische Bankrotterklärung in die Geschichte eingehen könnte. Dieser Rest ist nicht "dunkel" im Sinne von fern oder unsichtbar. Nicht "dunkel" im Sinne von Schwarzen Löchern oder den Tiefen des Alls. Er ist "dunkel" im Sinne von gegenwärtig – und möglicherweise auf immer – unbekannt: zu 23 Prozent ein geheimnisvolles Etwas, das man dunkle Materie nennt, zu 73 Prozent ein noch geheimnisvolleres Etwas, das man dunkle Energie nennt. Mit hin bleiben nur vier Prozent für den Stoff, aus dem wir sind. Wie ein Astrophysiker gern in seinen öffentlichen Vorträgen sagt: "Wir sind nur ein wenig Verunreinigung."³ Gelänge es, uns und alles, was wir bis vor

Kurzem für das Universum gehalten haben, zu vernichten, würde sich wenig verändern. "Wir sind vollkommen unwichtig", fügt der Redner fröhlich hinzu.

Alles gut und schön. Die Astronomie ist voller Erkenntnisse, die *Homo sapiens* zur Bedeutungslosigkeit verurteilen. Doch diese Lektionen in Demut und Bescheidenheit wurden in der Vergangenheit immer ein wenig gemildert durch tiefere Einsichten in die Zusammenhänge des Universums. Je mehr wir beobachten konnten, desto mehr erfuhren wir. Doch wie steht es mit dem, was wir weniger oder gar nicht beobachten können? Was geschieht dann mit unserem Verständnis des Universums? Welche gegenwärtig noch gar nicht vorstellbaren Auswirkungen hätten diese Grenzen unserer Erkenntnis - und unsere Fähigkeit, sie zu überschreiten oder nicht - auf unsere physikalischen Gesetze und unsere Philosophie, diese beiden verschwisterten, unsere Beziehung zum Universum bestimmenden Bezugssysteme?

Die Astronomen sind dabei, es herauszufinden. Die "endgültige kopernikanische Revolution", wie sie gerne sagen, findet genau jetzt statt. Sie vollzieht sich in unterirdischen Minen, in denen hochempfindliche Detektoren auf die Ankunft eines hypothetischen Teilchens warten, das vielleicht schon eingetroffen ist oder vielleicht nie eintreffen wird, und sie vollzieht sich in Elfenbeintürmen, wo Kaffeepausengespräche Multiversen aus Espressodampf herbeireden. Sie vollzieht sich am Südpol, wo Teleskope die Reststrahlung des Urknalls beobachten; in Stockholm, wo Nobelpreisträger bereits erste Anerkennung für ihre Begegnungen mit der dunklen Seite ernten; auf den Laptops von Postdoktoranden in aller Welt, wenn sie in Echtzeit die Selbstvernichtung von Sternen beobachten - Milliarden Lichtjahre von der Bequemlichkeit des Wohnzimmersofas entfernt. Sie vollzieht sich in gedeihlicher Zusammenarbeit und, da das Universum ein durch und durch darwinistischer Ort ist, in karrieregefährdendem Wettbewerb.

Die Astronomen, die sich unversehens an der Spitze dieser Revolution befanden, hatten ursprünglich nichts dergleichen gewollt. Wie Galilei hatten sie keinen Grund für die Annahme, sie würden neue Phä-

nomene entdecken. Sie suchten nicht nach dunkler Energie. Und als sie die Belege für dunkle Materie und dunkle Energie entdeckten, glaubten sie sie nicht. Doch als immer mehr und bessere Daten zusammengetragen wurden, gelangten sie und ihre Kollegen übereinstimmend zu der Auffassung, dass das Universum, das wir zu kennen glaubten, seit die ersten Menschen zum Nachthimmel emporgeblickt hatten, nur ein Schatten dessen ist, was es dort draußen gibt. Dass wir blind für das tatsächliche Universum sind, liegt daran, dass es aus weniger besteht, als das Auge fasst. Und dass dieses Universum unser Universum ist – und wir gerade erst damit beginnen, es zu erforschen.

Und damit sind wir zurück im Jahr 1610.

10. Der Fluch des Bambinos

"Ich will ihn noch eine Zeitlang beobachten."

"Wegen des komischen Geräuschs?"

"Weil er rückwärts getanzt ist."

"Er ist rückwärts getanzt?"

"Er ist rückwärts getanzt."

"Er ist rückwärts getanzt." Pause. "Das ist unmöglich."

Die beiden Doktoranden starrten auf einen Stift etwa von der Größe eines kleinen Fingers – eine Vorrichtung, die ein Räderwerk bewegte, das ein Räderwerk in einem Kupferzylinder bewegte, der viereinhalb Meter unter die Erde reichte. Der Stift drehte sich, oder "tanzte", im Uhrzeigersinn in winzigen Schritten: *Tick, Tick, Tick*. Ein Schritt gegen den Uhrzeigersinn sollte ja unmöglich sein, aber der erste Student hatte ihn mit eigenen Augen gesehen. Er musste ihn noch einmal sehen.

Er stieß die Hände in die Taschen. Dann zog er sie heraus und verschränkte die Arme. Er lehnte sich mit einer Hand gegen einen Betonpfeiler. Schließlich nahm er einen Drehstuhl und stützte sich mit einem Knie auf das Sitzkissen. Er ließ den Stift nicht aus den Augen. Ein Praktikant kam vorbei, fragte, was sie taten und schloss sich dem Um-die-Wette-Starren an.

Der Stift blinzelte als erster. Nach zehn Minuten tanzte er rückwärts.

Die drei Studenten gingen in die im Inneren aufgebaute Hütte, wo sich die anderen Mitglieder der Gruppe unter der Klimaanlage zusammendrängten. Mit den Neuankömmlingen war die Aufnahmefähigkeit der Hütte erschöpft: acht Leute. Der erste Doktorand teilte seine

Beobachtung Leslie Rosenberg mit, einem der Leiter des Projekts. Rosenberg, mit Rauschebart und beginnender Glatze, reagierte mit einem halben Lächeln.

"Unmöglich", sagte er.

"Irgendwas mit der Software", sagte ein anderes Team-Mitglied und blickte noch nicht einmal vom Computer auf.

Trotzdem wollte Rosenberg es mit eigenen Augen sehen. Kurz darauf starrten vier Physiker, die Hände in den Taschen, auf den Stift.

Tick. Tick. Tick. Tick. Tick. Tick. Tick.

Das geschah bei der Suche nach dunkler Materie an einem Sommernachmittag 2007 in einer wellblechgedeckten Flugzeughalle in der kalifornische Wüste, 65 Kilometer östlich der Bay Area – offiziell Gebäude 436 des Lawrence Livermore National Laboratory, allgemein jedoch nur der "Schuppen". Das Experiment war auf dem neusten Stand der Technik, obwohl im Augenblick eher auf der Werkbank. Die Assistenten arbeiteten nach Konstruktionsplänen, die sie auf dem Betonfußboden ausgebreitete hatten. Abwechselnd hantierten sie mit Drahtscheren und Schraubenschlüsseln, Bohrern, Hämmern und einer Metallsäge. Flecken, Beulen, Späne, Splitter und Schrott bedeckten Tische und Blechregale. Die Aufgabenliste am Whiteboard neben dem Hütteneingang war von eins bis acht nummeriert – allerdings lag die Acht auf der Seite: unendlich. Nach dem Mittagessen beseitigte der Programmierer den Software-Fehler: unendlich minus eins. Das Experiment war seit fast 20 Jahren in Arbeit – jetzt wurde die zweite Inkarnation des Instruments vorbereitet –, und der Versuch hatte noch rund zehn Jahre vor sich. Doch am Ende, nachdem das Experiment seine Pflicht getan hatte, würde die Welt wissen, ob es einen der beiden heißesten Kandidaten für dunkle Materie tatsächlich gab.

Als Vera Rubin und ihre Galaxienbewegungen messenden Kollegen in den Siebzigerjahren übereinstimmend Belege für die "fehlende Masse" ermittelten und die Kosmologen veranlassten, die unvermeidliche Frage *Was ist das?* zu stellen, lieferten Parallelentwicklungen in der Teilchenphysik zufällig eine mögliche Antwort: *Nicht der Stoff, aus dem*

wir sind. Nicht der Stoff, aus dem die Atome sind – die Protonen und Neutronen, kollektiv als Baryonen bezeichnet, die von den ersten Augenblicken des Universums an die vertraute Materie gebildet und umgebildet haben. Vielmehr ein anderer Stoff, ebenfalls aus den ersten Augenblicken des Universums stammend, aber nicht an Bildung und Umbildung beteiligt – nicht in Wechselwirkung mit sich selbst oder mit irgendeiner anderen Materie. Stoff, der zum Gewicht des Universums beitrug, indem er einfach im Überfluss vorhanden war, aber ansonsten nicht viel mehr tat. In den Siebzigerjahren warteten die Theoretiker haufenweise mit diesen hypothetischen Teilchen auf, um einige Probleme zu lösen, die sie mit dem Standardmodell der Teilchenphysik hatten. Doch als sie sich die Eigenschaften solcher Teilchen ansahen, stellten sie fest, dass zwei von ihnen genau in dem richtigen Verhältnis vorhanden wären, um die "fehlende" Materiemenge zu liefern.

Das eine war das Axion – das Teilchen, das die Physiker im "Schuppen" zu finden hofften. Wenn es existierte, dann billionenfach pro Kubikzentimeter, wobei mehrere Billionen ständig unseren Körper durchqueren würden. Physiker sind an die Vorstellung gewöhnt, dass Teilchen scheinbar feste Körper passieren; ein Neutrino könnte ein Lichtjahr Blei durchqueren, ohne mit einem anderen Teilchen in Berührung zu kommen. Daher lag wie bei der Suche nach dem anderen heißen Kandidaten für dunkle Materie, dem so genannten Neutralino, die Schwierigkeit darin, das Axion nachzuweisen.

Karl van Bibber eröffnete die Jagd auf das Axion im Jahr 1989, als er sich noch auf der Wunderkindseite der Vierzig befand.⁴⁶⁴ Drei Jahre später warb er Rosenberg, der früher bei ihm an der Stanford University studiert hatte und den er ein "absolutes Genie", einen "Weltklasse-Experimentator" nannte, für das Axion Dark Matter Experiment (ADMX) an. Van Bibber war in Connecticut aufgewachsen, als Fan der Boston Red Sox, jener Baseball-Mannschaft, die seit 1918 fatalerweise nie mehr die World Series, die Endrunde der amerikanischen Profiligen, gewonnen hatte. Seine ganze Kindheit hindurch hörte er, dass ein Fluch auf den Red Sox laste, weil sie Babe Ruth Anfang 1920 an die

Yankees verkauft hatten. Als die Red Sox 2004 endlich wieder die World Series gewannen, erwies sich van Bibbers Begeisterung als ansteckend; Rosenberg, der bereits während seiner Lehrtätigkeit am MIT eine gewisse Vorliebe für die Mannschaft gewonnen hatte, ließ sich von seinem Kollegen zum echten Red-Sox-Fan machen. Van Bibbers Bildschirm-schoner war eine schwebende Sammlung der Schlagzeilen zum World-Series-Sieg der Red Sox im Jahr 2004: "Ghostbusters!", "Unglaublich!", "Tschüß bis 2090!" Er und Rosenberg waren sich seit langem einig, dass das Dasein als Red-Sox-Fan eine gute Vorbereitung auf die Tätigkeit als Axion-Jäger sei.

Um irgendwelche Aussichten auf Nachweis eines Axions zu haben, mussten sie einen Empfänger bauen, der ein Signal mit einer "Stärke" von ungefähr einem billionstel Billionstel – oder $1/1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$ – Watt empfangen konnte.⁴⁶⁵ Das ist um drei Größenordnungen schwächer als die letzte Nachricht der Raumsonde *Pioneer 10* im Jahr 2002, als sie, elf Milliarden Kilometer von der Erde entfernt, im Begriff war, das Sonnensystem zu verlassen. Doch bei *Pioneer 10* kannten die Forscher wenigstens die Signalfrequenz; sie wussten, wie sie ihren Empfänger einstellen mussten.

Diesen Luxus hatte Karl van Bibber nicht. Doch einen Vorteil hatte er immerhin gegenüber anderen Jägern der dunklen Materie: Er würde seine Beute erkennen, wenn er sie sah.

Wie sieht man etwas, was dunkel ist, wenn man mit "dunkel" meint, wie es die Astronomen in den Siebziger- und Achtzigerjahren zunehmend taten: "unmöglich zu sehen"? Wie macht man etwas, was nach der eigenen Definition nicht machbar ist?

Man macht es nicht. Man denkt die Frage noch einmal durch.

Seit Jahrtausenden versuchten die Astronomen, das Wirken des Universums zu begreifen, indem sie die Lichter am Himmel beobachteten. Mit Galilei lernten sie, mehr Lichter am Himmel zu erfassen – solche, die sie nicht mit den Augen allein, sondern nur mit Hilfe von Fernrohren und Teleskopen sehen konnten. Mitte des 20. Jahrhunderts

erweiterten sie ihren Begriff von "Licht", indem sie durch Teleskope schauten, die elektromagnetische Wellen außerhalb des sichtbaren Spektrums erfassten: Radiowellen, Infrarotstrahlung, Röntgenstrahlen und so fort. Nachdem sie sich von den Beweisen für dunkle Materie hatten überzeugen lassen, wurde den Astronomen klar, dass sie ihr Verständnis von "Schauen" erweitern mussten. Wenn sie jetzt das Wirken des Universums verstehen wollten, mussten sie den Begriff des Schauens viel weiter fassen: etwa im Sinne von "Suchen". Von "Irgendwie in Kontakt kommen". Sonst konnten sie nur tun, wozu die Astronomen der Vorzeit und Antike aus Mangel an Instrumenten, die einen der fünf Sinne erweitern, gezwungen waren: Die Phänomene zu retten. Nachzudenken. Theorien zu entwickeln.

Theoretisch war dunkle Materie auch nichts anderes. Von Beginn an waren die Belege für sie indirekt. Dass es sie gab, "wussten" wir nur durch ihr Einwirken auf Materie, die wir sehen konnten. Die naheliegende Antwort auf die Frage nach ihrer Beschaffenheit lautete natürlich: mehr von gleicher Art – mehr von dem Stoff, den wir *sehen könnten*, wenn er nicht so weit weg wäre oder so intrinsisch schwach leuchten würde, dass ihn unsere üblichen Beobachtungsinstrumente nicht erfassten. Ockhams Rasiermesser plädierte für ein Universum, das aus Materie von bereits bekannter Art gemacht war – Materie, die aus Baryonen bestand –, nicht aus Materie unbekannter Art. Vera Rubin scherzte gern, dunkle Materie, das seien möglicherweise "kalte Planeten, tote Sterne, Ziegelsteine oder Baseballschläger".⁴⁶⁶

1986 äußerte der Princeton-Forscher Bohdan Paczynski die Vermutung, dass sich diese unsichtbaren, massereichen Objekte, wenn sie sich im Halo unserer Galaxis befänden – wo die meiste dunkle Materie der Milchstraße vermutet wird –, durch den so genannten Gravitationslinseneffekt nachweisen lassen müssten.⁴⁶⁷ 1936 hatte Einstein die Ansicht geäußert, dass ein Vordergrundstern für einen Hintergrundstern als eine Art Linse wirken könne: Die gravitative Masse des Vordergrundsterns krümmt den Raum und mit ihm den Weg des vom Hintergrundstern kommenden Lichts, sodass wir den Hintergrundstern auch

dann sehen können, wenn er sich in unserer Sichtlinie "hinter" dem Vordergrundstern befindet. "Selbstverständlich", so schrieb Albert Einstein im Jahr 1936 in einem *Science*-Artikel, " gibt es keine Hoffnung, dieses Phänomen direkt zu beobachten."⁴⁶⁸ Privat teilte er dem Herausgeber der Zeitschrift zu diesem Aufsatz mit: "Er ist von geringem Wert."

Da dachte Einstein in zu kleinen Dimensionen. Er war noch immer dem Universum verhaftet, in dem er aufgewachsen war. Doch das Universum war nicht mehr nur auf die Sterne unserer eigenen Galaxis beschränkt; es umfasste auch die vielen Galaxien. Einige Monate nachdem Einstein seinen kurzen Artikel zu dem Thema veröffentlicht hatte, wies Fritz Zwicky darauf hin, dass anstelle eines Vordergrundsterns auch eine *Vordergrundgalaxie* als Gravitationslinse dienen könnte. Da nun eine Galaxie über die Masse von Milliarden Sternen verfüge, werde "die Wahrscheinlichkeit, dass man Nebel findet, die als Gravitationslinsen wirken, praktisch zur *Gewissheit*".⁴⁶⁹

1979 bewahrheitete sich diese Vorhersage, als Astronomen dank der gravitativen Intervention einer Galaxie zwei Bilder desselben Quasars entdeckten. Mit dem Aufkommen der CCD-Technologie und der Supercomputer waren nach Paczynskis Einschätzung vielleicht auch Gravitationslinsen-Entdeckungen in dem kleinen, von Einstein beschriebenen und dann verworfenen Maßstab möglich. Wenn in unserer Sichtlinie, so Paczynski, ein dunkles Objekt im Halo unserer Galaxis – ein *Massive Compact Halo Object* oder MACHO ("massives kompaktes Halo-Objekt") – vor einem Stern in einer Nachbargalaxie vorbeiziehe, werde der Gravitationseffekt des dunklen Vordergrundobjekts das Licht des Hintergrundobjekts heller erscheinen lassen. 1993 berichteten zwei Forschungsgruppen, sie hätten die Helligkeit von Millionen Sternen in der Großen Magellanschen Wolke überwacht und dabei wahrscheinlich drei solche Ereignisse beobachtet – eine eindrucksvolle astronomische Leistung, aber keine Entdeckungsrate, die darauf schließen ließ, dass es im Halo der Milchstraße von dunklen und massiven Objekten aus baryonischer Materie wimmelt.

Abermals war das Problem womöglich keine nicht zu beobachtende Materie, sondern der beobachtbare Effekt – Gravitation. 1981 entwickelte Mordehai Milgrom vom Weizmann-Institut im israelischen Rehovot die so genannte Modifizierte Newtonsche Dynamik oder MOND – eine mathematische Formel, die seiner Meinung nach die Lichtkurven für Galaxien mindestens ebenso gut wie und vermutlich sogar besser als das Vorhandensein irgendeiner geheimnisvollen Materieart erklärte. Jedoch lieferte sie keine sehr gute Beschreibung von Galaxienhaufen.

Doch selbst wenn MOND dies geleistet hätte – die Physiker hatten bereits eine Lösung des Dunkelmaterie-Problems gefunden, die scheinbar eine weniger offensichtliche, aber paradoxerweise überzeugendere Lösung bot als der Stoff, den wir kennen, oder als MOND: Stoff, den wir nicht kennen.

Als David Schramm und seine Studenten den inneren und den äußeren Raum erforschten, hatten sie entdeckt, dass Deuterium (ein Wasserstoffisotop, das ein Neutron im Kern enthält, im Unterschied zum häufigsten Wasserstoffisotop, dem Protium, dessen Kern keines besitzt) in Sternen nur zerstört, nicht aber (wie andere Elemente) erzeugt werden kann.⁴⁷⁰ Daher muss alles Deuterium, das im heutigen Universum vorkommt, schon im frühesten Universum vorhanden gewesen sein, wobei wir davon ausgehen können, dass die gegenwärtige Häufigkeit mindestens der Häufigkeit im Ur-Universum entsprach. Durch eine weitere Rechnung lässt sich bestimmen, wie groß die Baryondichte im frühen Universum gewesen sein müsste, damit diese minimale Deuteriumhäufigkeit die Urphase des Universums überleben konnte. Je dichter die baryonische Materie, desto steiler der Abfall der Deuterium-Überlebensrate. Damit es wenigstens so viel Deuterium wie heute im frühen Universum geben konnte, muss eine bestimmte Dichte der baryonischen Materie vorgelegen haben. Diese Analyse ergab also eine Obergrenze für die Dichte der baryonischen Materie. (Deshalb bezeichneten Schramm und Turner das Deuterium als "Baryometer".⁴⁷¹)

Durch ähnliche Überlegungen und Berechnungen kann man zu einer Untergrenze für baryonische Materie gelangen. Helium3 (zwei Proto-

nen plus ein Neutron) kann in Sternen nur erzeugt und nicht zerstört werden, daher ist der Schluss zulässig, dass die gegenwärtige Häufigkeit die größtmögliche Ur-Häufigkeit darstellt. Nun kann man errechnen, wie groß die Bayonendichte gewesen sein muss, damit diese Maximalmenge an Helium3 übrigbleiben konnte. Daraus lässt sich wiederum eine *Untergrenze* der Dichte baryonischer Materie ableiten.⁴⁷²

Durch die Bestimmung von Ober- und Untergrenzen der Dichte baryonischer Materie im Universum mithilfe der Teilchenphysik kamen Schramm und andere Forscher auf ein Omega für baryonische Materie von rund 0,1.

Diese Menge sagte jedoch nichts über nicht-baryonische Materie aus.* Bald darauf liefen Beobachtungen, die das "Gewicht" des Universums auf verschiedenen Größenskalen bestimmten, auf ein Omega in der Größenordnung von 0,2 oder mehr hinaus.⁴⁷³ Diese Ungleichheit – 0,1 baryonische Materie versus 0,2 Gesamtmaterie – war allein Beleg genug dafür, dass es mehr als Schwarze Löcher und Baseballschläger in den Halos von Galaxien oder riesigen Galaxienhaufen gab. Das Universum brauchte unbedingt nicht-baryonische Materie. Nun konnte solche Materie in einem Urknallmodell nur einen Ursprung haben – denselben Ursprung wie Protonen, Neutronen, Photonen und alles andere im Universum: das Urplasma.

Auch wenn Teilchenphysiker nicht wussten, was für Teilchen es waren, so waren sie sich doch sicher, dass sie, wie alle anderen Teilchen, die seit der ersten Sekunde der Zeit durchs Universum strömen, entweder schnell oder langsam sein mussten. Teilchen, die sehr leicht waren und sich mit Geschwindigkeiten nahe der des Lichts – relativistischen Geschwindigkeiten – bewegten, bezeichnete man als heiße dunkle Materie. Teilchen, die schwerer und daher träger waren, die sich an Galaxien hefteten und sich mit dem gleichen Tempo wie Sterne

* Und daher auch nichts über einen Omega-Wert für die Gesamtmenge an Materie. Wem es also um ein inflationäres Universum zu tun war, das flach war und einen Omega-Wert von eins hatte, brauchte sich wegen der Zahl von 0,1 für das Verhältnis von baryonischer Materie zur kritischen Dichte keine sonderlichen Sorgen zu machen. Der Quotient aus Gesamtdichte – baryonischer und nicht-baryonischer Materie – und kritischer Dichte konnte trotzdem gleich oder sogar größer eins sein.

und Gas bewegten, hießen kalte dunkle Materie. Diese beiden Interpretationen ließen sich eindeutig überprüfen.

Anfang der Achtzigerjahre hatte man in der Hintergrundstrahlung die Ur-Ripples noch nicht entdeckt – die kleinen anfänglichen Unebenheiten, die gewissermaßen Kondensationskerne der Schöpfung waren, gravitative Ballungsgebiete, die zu den heute beobachtbaren Strukturen im Universum wurden. Trotzdem wusste man bereits, dass diese Kräuselungen, so es sie denn gab, von den beiden Modellen dunkler Materie – heißer und kalter – unterschiedlich beeinflusst worden wären, was zu zwei entgegengesetzten Entwicklungsszenarien des Universums führte.

Heiße dunkle Materie – Teilchen, die sich mit relativistischen Geschwindigkeiten bewegen – hätte die Ur-Ripples zu riesigen Volumen verschmiert, wie Platzregen ein Kreidebild auf dem Bürgersteig. In einem Universum voller Materie, die sich um diese enormen Gebilde zusammenballte, hätten sich zuerst die größeren Strukturen gebildet. Die gewaltigen Materiekumpen wären im Laufe der Zeit in die Stücke zerbrochen, die wir heute sehen – die Galaxien. Das Universum hätte eine von oben nach unten (*top-down*), vom Komplexen zum Einfachen verlaufende Geschichte.

Kalte dunkle Materie – Teilchen, die sich mit einem kleinen Bruchteil der Lichtgeschwindigkeit bewegen – hätte sich in sehr viel geringerem Maße auf den Ur-Ripples abgelagert und daher die Entwicklung weit weniger beeinflusst. In diesem Universum hätten Strukturen stückchenweise, als Galaxien, begonnen und sich langsam zu immer größeren und größeren Strukturen zusammengeschlossen. Die Geschichte des Universums wäre von unten nach oben (*bottom-up*), vom Einfachen zum Komplexen verlaufen.

Die Beobachtungen Anfang der Achtzigerjahre, die darauf schließen ließen, dass die Milchstraße zu einem Lokalen Superhaufen gehört, oder dass Superhaufen durch große Leerräume getrennt sind, lieferte genügend Belege für das Modell der kalten dunklen Materie, um die meisten Theoretiker Mitte des Jahrzehnts zur Aufgabe des Modells der

heißen dunklen Materie zu bewegen. Dann nahm man eine dreidimensionale Kartierung des Universums mit Rotverschiebungs-Durchmusterungen vor, die Ende der Achtzigerjahre damit begann, dass das Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics eine "Große Mauer" aus Galaxien entdeckte.⁴⁷⁴ Von 1997 bis 2002 kartierte die Two-degree-Field Galaxy Redshift Survey mit dem 3,9-Meter-Teleskop des Anglo-Australischen Observatoriums 221 000 Galaxien;⁴⁷⁵ seit 2000 hat die Sloan Digital Sky Survey mit dem 2,5-Meter-Teleskop des Apache Point Observatoriums in New Mexico 900 000 Galaxien kartiert.⁴⁷⁶

In diesen und anderen Durchmusterungen stellten die Astronomen fest, dass sie umso *weniger* Komplexität sahen, je tiefer ins Universum – und damit auch: je weiter zurück in der Zeit – sie blickten. Was im Umkehrschluss heißt, dass sie umso *mehr* Komplexität sahen, je näher sie der Gegenwart kamen. Zuerst bildeten sich Galaxien, bei Rotverschiebungen von zwei bis vier – oder vor rund neun bis zwölf Milliarden Jahren.⁴⁷⁷ Dann ballten sich diese Galaxien bei Rotverschiebungen von unter eins – oder vor weniger als etwa sechs Milliarden Jahren – zu Haufen zusammen. Und jetzt, heute (nach kosmischem Zeitmaß), schließen sich diese Haufen zu Superhaufen zusammen. Zuerst bildete die Materie kleine Strukturen, und diese ordneten sich dann zu immer größeren Gebilden. Die Geschichte des Universums verlief offenbar von unten nach oben, vom Einfachen zum Komplexen, wie es die theoretischen Modelle der kalten dunklen Materie vorhersagen.

Allerdings kartierten diese Durchmusterungen Lichtquellen. Sie zeigten, wo die Galaxien waren, überließen es aber den Forschern zu schlussfolgern, wo die dunkle Materie war. 2006 veröffentlichte die Cosmic Evolution Survey (COSMOS) eine Karte der dunklen Materie selbst. Bei dieser Durchmusterung studierten die beteiligten Astronomen 575 HST-Bilder von Fällen, in denen sich zwei Galaxien oder Haufen hintereinander befanden.⁴⁷⁸ Wie beim Mikrolinseneffekt, mit dem man bei den MACHO-Durchmusterungen gearbeitet hatte, sucht man beim Schwachen Gravitationslinseneffekt nach einer Massekonzentration im Vordergrund, die das Licht einer ferneren Quelle verzerrte. Im

Unterschied zum Mikrolinseneffekt zeichnet man beim Schwachen Gravitationslinseneffekt jedoch keine individuellen Ereignisse auf, etwa Objekte, die vor anderen vorbeiwandern, sondern überdauernde Beziehungen zwischen Objekten, die sich relativ zueinander praktisch in Ruhe befinden – Galaxien oder Galaxienhaufen. Das Licht eines Vordergrundobjekts verrät den Beobachtern, wie viel Masse vorhanden zu sein *schien*. Die Auswirkung der Gravitationslinse auf das Hintergrundobjekt verrät, wie viel Masse *tatsächlich* vorhanden war. Die Differenz zwischen den beiden Mengen war dunkle Materie.

Die COSMOS-Karte erfasste nicht nur einen Himmelsausschnitt, der neunmal so groß war wie der Durchmesser des Vollmonds, sondern auch dreidimensional, das heißt, sie berücksichtigte auch die Tiefe. Das entsprach dem Unterschied zwischen einer Karte, die nur Straßen zeigt, und einer anderen, die auch die Hügel und Täler wiedergibt, welche die Straßen durchqueren. Und da tiefer in den Raum hineinsehen heißt, auch weiter in der Zeit zurückzublicken, zeigte die COSMOS-Karte, wie diese Hügel und Täler entstanden waren – wie sich die dunkle Materie entwickelt hatte. Nach den Funden dieser "Kosmopaläontologie", wie die Forschungsgruppe diesen Ansatz nannte, stürzte zunächst die dunkle Materie in sich zusammen, und dann wuchsen sich diese Kollaps-Zentren zu Galaxien und Galaxienhaufen aus – abermals ein Szenario, das der Bottom-up-Theorie der kalten dunklen Materie entsprach.

Der vielleicht bedeutendste und sicherlich bekannteste indirekte Beleg für das Vorhandensein dunkler Materie war eine Fotografie aus dem Jahr 2006, die den Zusammenstoß zweier Galaxienhaufen zeigte, zusammenfassend als Bullet-Haufen bezeichnet. Douglas Clowe, damals University of Arizona, beobachtete die Kollision mit Hilfe von Röntgenstrahlen und dem Gravitationslinseneffekt und schied dabei das sichtbare Gas von der unsichtbaren Masse. Das (im Röntgenbereich) sichtbare Gas beider Haufen sammelte sich im Zentrum des Zusammenstoßes, wo sich die Atome ganz normal verhielten – das heißt einander anzogen und sich gravitativ konzentrierten. Gleichzeitig schien sich die

unsichtbare Masse (durch den Gravitationslinseneffekt nachweisbar) zu beiden Seiten der Kollision anzuordnen. Es war, als wären die Dunkelmaterie-Waggons beider Haufen, wie Geister, ungehindert durch die Unglücksstelle der Zugkatastrophe gerast.

Die Fotografie wurde weltweit veröffentlicht, und der Bullet-Haufen wurde zum Synonym für dunkle Materie. Dabei halfen die Falschfarben: Die NASA gaben das Gas rosarot und die unsichtbare Masse blau wieder. Die Überschrift der Presseverlautbarung tat ein Übriges: "NASA findet direkten Beweis für dunkle Materie".

Doch das war nicht ganz richtig. Selbst wenn wir den zweifelhaften Wortgebrauch von "Beweis" außer Acht lassen, war das "direkt" strittig – und wurde während der Abfassung der Pressemitteilung heftig diskutiert.⁴⁷⁹ Das Problem lag darin, dass die Astronomen seit einer Generation behaupteten, die baryonische Materie im Universum könnte von dunkler Materie beherrscht werden. Jetzt sagten sie: Sie *wird* von dunkler Materie beherrscht. "Er ist nicht 'direkt'", räumte Clowe ein. "Für einen direkten Nachweis dunkler Materie müssten wir ein Teilchen einfangen."

Also, wie konnte man eins fangen? Wie konnte man einen Beweis beschaffen, den man, wie Mike Turner gerne sagte, "in eine Flasche stopfen und zur Tante aus Missouri tragen kann, die sagt: 'Zeig her!'"⁴⁸⁰ Zunächst musste man wissen, wonach man Ausschau halten sollte – wobei von "schauen" natürlich keine Rede sein konnte.

Ende der Siebzigerjahre hatten die Theoretiker das Standardmodell der Teilchenphysik abgeschlossen, eine Erklärung der Beziehungen zwischen drei der vier fundamentalen Kräfte im Universum – Elektromagnetismus, schwache Wechselwirkung (oder schwache Kernkraft) und starke Wechselwirkung (oder starke Kernkraft). Dabei gab es zwei Teilchenarten: Bosonen und Fermionen – Teilchen, die denselben Quantenraum einnehmen können beziehungsweise nicht einnehmen können. Einige Forscher schlugen eine "Supersymmetrie" zwischen Bosonen und Fermionen vor; danach hätte jedes Boson einen Fermion-Partner und umgekehrt. Das Photon hätte beispielsweise einen Photino-

Superpartner, das Eichboson (*gauge boson*) ein *Gaugino*, das Gluon ein *Guino*. Und das Neutrino ein *Neutralino*.

Das *Neutralino* erwies sich – noch vor dem *Axion* oder *MACHO* – als vielversprechender Kandidat für dunkle Materie. Nach den Berechnungen der Theoretiker musste es noch eine bestimmte Menge dieser *Neutralinos* im gegenwärtigen Universum geben, außerdem sagten sie die Masse des *Neutralinos* voraus, und als sie die beiden Zahlen addierten, war das Resultat fast identisch mit den besten Schätzungen zur Menge der dunklen Materie. Aus ästhetischer Sicht gefiel den Physikern, dass das *Neutralino* kein *Ad-hoc-Konstrukt* war; niemand hatte es erfunden, um das Problem der dunklen Materie zu lösen. Das Konzept des *Neutralinos* gab es aus ganz anderen Gründen, und seine Beziehung zur dunklen Materie war einfach eine *Draufgabe*.

Das Problem des *Neutralinos* lag aus Sicht der Beobachter darin, dass es nur durch die schwache Kernkraft wechselwirkte. Daher der Name, den Mike Turner dieser Kategorie von *Dunkelmaterie-Kandidaten* gab: schwach wechselwirkende massive Teilchen (*WIMP** nach englisch: *Weakly Interactive Massive Particle*). Ein *WIMP* würde nicht durch den Elektromagnetismus wechselwirken, das heißt, es wäre bei keiner Wellenlänge nachzuweisen. Es würde auch nicht durch die starke Kernkraft wechselwirken, also kaum mit Atomkernen wechselwirken, wobei allerdings "kaum" das Schlüsselwort ist.

Die sehr seltene Ausnahme war der Ansatzpunkt, den die *Dunkelmaterie-Detektive* brauchten. Sie eröffnete ihnen die Chance, einen unserer Sinneswahrnehmungen unzugänglichen Nachweis zu führen und ihn in einen für unsere Sinne *fassbaren* Beleg zu verwandeln. Dabei hätten sie die *WIMPs* selbst zwar immer noch nicht wahrnehmen können, wären aber theoretisch in der Lage gewesen, zwei Nachwirkungen einer Wechselwirkung zwischen einem *WIMP* und einem Atomkern zu erfassen. Die eine Nachwirkung wäre eine winzige Wärmemenge, die durch den Zusammenstoß zwischen *WIMP* und Atomkern erzeugt wür-

* Dieses Akronym, das auf Englisch so viel wie "Weichei" bedeutet, ging der Abkürzung *MACHO* voraus und inspirierte sie.

de. Die andere wäre eine elektrische Ladung herausgeschlagener Elektronen. Keine der beiden Nachwirkungen an sich würde ausreichen, um ein Neutralino nachzuweisen. Doch das gemeinsame Auftreten beider bei einem einzigen Ereignis wäre eine unverwechselbare Signatur des Teilchens.

Doch um nach diesen Auswirkungen "Ausschau" halten zu können, mussten die Astronomen eine neue Form des "Teleskops" verwenden, eine, die neu für die Astronomie war: das Labor.

Eines der ersten Programme am Center for Particle Astrophysics Ende der Achtzigerjahre (zusammen mit dem Experiment, aus dem das Supernova Cosmology Project werden sollte) war ein solches Nachweis-Experiment, die Cryogenic Dark Matter Search (CDMS). Um die Targetatome - in diesem Fall Germanium - zu stabilisieren, musste der Detektor auf 0,4 Grad Celsius über dem absoluten Nullpunkt gekühlt werden. Außerdem galt es, den Detektor gegen kosmische Strahlen und Störungen durch andere normale Teilchen abzuschirmen.

Unter Leitung von Bernard Sadoulet, dem Direktor des Center for Particle Astrophysics, wurde das CDMS-Projekt an einem tiefer gelegenen Standort des Stanford-Campus 30 Meter unter der Erde durchgeführt, was etlichen engen Kurven in einer unterirdischen Parkgarage entspricht. Das Problem lag nicht darin, ein Signal zu erhalten, das eine Wechselwirkung mit dem Kern eines Germaniumatoms anzeigte. Signale gab es genug. Die Tiefe reichte aus, um kosmische Strahlen abzublocken, nicht aber Myonen, gewissermaßen schwere Versionen des Elektrons. Myonen durchdrangen die 30 Meter dicke Gesteinsschicht, trafen auf den Detektor und setzten Neutronen frei, die ein ähnliches Signal erzeugen wie Neutralinos, aber leider keine sind. Das Problem bestand darin, ein Signal der *richtigen Art* zu bekommen.

Es gab keine andere Möglichkeit, als noch tiefer zu gehen. 2003 nahm der Nachfolge-Detektor, CDMS II, seine Arbeit 800 Meter unter Fels in einer ehemaligen Eisenmine im nördlichen Minnesota auf. Zu diesem Zeitpunkt hatte CDMS aber schon eine ganze Generation von Nachahmern gefunden, obwohl die hohen Kosten, enormen Ausmaße und

zeitaufwendigen Datenermittlungen bei CDMS die Forscher nach billigeren und schnelleren Methoden suchen ließen. Viele Detektoren der zweiten Generation arbeiteten mit den Edelgasen Argon, Neon und Xenon, die nicht fast bis zum absoluten Nullpunkt gekühlt werden müssen, um den erforderlichen flüssigen Zustand anzunehmen, und die weit preiswerter sind. 2007 erwies sich das XENON10-Experiment, ein 15-Kilogramm-Tank mit flüssigem Xenon, der in einem unterirdischen Labor im italienischen Gran Sasso stand, als ernst zu nehmender Konkurrent, dessen Resultate weit genauer waren als die von CDMS II.

1992 hatte Sadoulet einem Journalisten mitgeteilt: "Ich mag ja aufschneiden, aber ich glaube, wir sind nahe dran." 16 Jahre, zahlreiche Besetzungen mit Doktoranden und Postdoktoranden und zwei Detektorgenerationen später versammelte sich eine Gruppe von zwölf CDMS-Gruppenmitgliedern in seinem Haus, um eine "Blindanalyse" ihrer Daten abzuwarten – einen Test, der zeigen sollte, ob bei ihren neuesten Untersuchungen ein quantifizierbares Ergebnis heraussprang.⁴⁸¹ Nach ihren Berechnungen sollte der CDMS-II-Teilchendetektor im vergangenen Jahr nicht mehr als einen oder zwei "Treffer" von verirrtten subatomaren Teilchen gewöhnlicher Materie erhalten haben. Je weniger Treffer sie sahen, desto zuverlässiger konnten sie ein Segment des WIMP-Phasenraums ausklammern – den Graphen, der alle vernünftigen Kombinationen von Größe und Masse anzeigte. Wie die Besiedlung des Grenzlands durch Pioniere sorgte die Ausschließung jedes Graphabschnitts dafür, dass die zu erforschende Region kleiner wurde. Genau um Mitternacht umringten sie einen Computer in Sadoulets Wohnzimmer, gaben die Daten "frei" und warteten darauf, dass die Antwort auf dem Bildschirm auftauchte.

Nichts.

Jubel brach aus – nicht unähnlich dem spontanen Applaus, der einem Teammitglied etwas später in demselben Monat zuteil wurde, als er auf einem UCLA-Symposium über dunkle Materie und vor etwa 100 Kollegen aus aller Welt mittels PowerPoint die Nicht-Detektion noch einmal vorführte. CDMS II hatte wieder die Führung übernommen, sodass ein

XENON10-Mitglied etwas später die eigene PowerPoint-Präsentation seufzend unterbrach und meinte: "Ich nehme an, dieser Graph ist seit etwa 45 Minuten überholt."

Der Umstand, dass selbst ein Null-Resultat Anlass zum Jubel war, zeigt, wie schwierig das WIMP-Problem ist. Später nahm einer der Gruppenleiter beim Betreten des Fahrstuhls die Glückwünsche für die Arbeit seines Teams bescheiden entgegen. "Natürlich wäre ein Nachweis besser gewesen", sagte er nachdenklich.⁴⁸²

19 Monate später ging sein Wunsch in Erfüllung. Die nächste *Unblinding Party* von CDMS II war zugleich die letzte. In der Zwischenzeit war die damalige Form des Experiments – fünf Türme mit je sechs Detektoren – durch eine neuere Version ersetzt worden: SuperCDMS. Als die Gruppenmitglieder den "Kasten" mit diesen letzten Daten "öffneten", erwarteten sie mehr vom Gleichen: eine Menge Nichts. Stattdessen erhielten sie zwei "Etwas": das eine vom 5. August 2007, das andere vom 27. Oktober 2007.

Ein Null-Resultat wäre eine eindeutige Aussage gewesen, die einen weiteren Abschnitt des Phasenraums für künftige Experimente ausgeschlossen hätte. Doch zwei Detektionen mussten ins teilchenphysikalische Purgatorium, bis über sie entschieden war. Statistisch reichte diese Zahl noch nicht einmal aus, um als "Indiz für" gewertet zu werden, von einer Entdeckung, für die es fünf Ereignisse gebraucht hätte, ganz zu schweigen. Wenn beide Ereignisse auf Hintergrundrauschen oder Strahlung aus der Mine zurückgingen, hatte die Gruppe Pech gehabt. Wenn beide Ereignisse tatsächlich als Signal zu werten waren und eine konkurrierende Arbeitsgruppe wie XENON100 (Nachfolgeexperiment von XENON10 und bereits in Gange, als CDMS den Kasten öffnete) mit einer statistisch befriedigenden Zahl von Ereignissen aufwarten und infolgedessen die Entdeckung für sich in Anspruch nehmen konnte ... dann hatte die Gruppe ebenfalls Pech gehabt. Weshalb ein Doktorand auch seine Enttäuschung darüber, dass sie kein Null-Resultat erzielt hatten, mit den Worten zum Ausdruck brachte: "Dann wären wir ganz vorne gewesen!"⁴⁸³

Woraufhin Jodi Cooley ihm ins Gedächtnis rufen musste: "Eigentlich sind wir hier, um etwas zu sehen." Als Koordinatorin der Datenanalyse dieses Experiments war sie ein halbes Jahr zuvor als Postdoktorandin an der Stanford University zur Gruppe gestoßen und hatte seit zwei Monaten ihre erste Festanstellung als Assistenzprofessorin an der Southern Methodist University. Gemessen an Bernard Sadoulet hatte sie noch als Neuling im Dunkelmaterie-Spiel zu gelten. Doch war sie schon lange genug dabei, um es sattzuhaben, die Sichtung von Nichts als Erfolg zu feiern.

Trotzdem wusste sie natürlich, was der Doktorand meinte. In gewisser Weise, so sagte Cooley sich (aber nicht dem Doktoranden), war ein Gesamtergebnis von zwei Detektionen das "Worst-Case-Szenario".

Die nächsten Wochen war die Gruppe damit beschäftigt, die Ergebnisse Datenqualitätsprüfungen zu unterziehen. Waren die Detektionen weit genug im Inneren der betreffenden Detektoren, wo die Wahrscheinlichkeit verirrter Strahlung geringer war? Ja. Hatten die Detektionen zu Zeiten stattgefunden, als die Instrumente einwandfrei arbeiteten? Ja. Fanden die Detektionen gleichzeitig statt – eine Doppel-WIMP-Detektion, die wenig glaubwürdig war? Nein. Gingen beide Detektionen auf das Konto eines Detektors? Nein. Insgesamt unterzog die Gruppe ihre Ergebnisse 50 Überprüfungen, und beide Detektionen bestanden alle Tests.

Die Qualität der Ergebnisse war hoch. Das Problem war die Quantität. Die Gruppe hatte nicht genügend Ereignisse, um mit Sicherheit entscheiden zu können, was sie beobachtet hatte.

Trotzdem hatte sie *etwas* gefunden. Diese Tatsache allein war ein gewichtigerer Grund für eine Unterrichtung der wissenschaftlichen Gemeinschaft, als es ein Null-Resultat gewesen wäre. Die Gruppe hätte in jedem Fall, unabhängig vom Ergebnis, einen Artikel über das Experiment veröffentlicht, doch dieses Etwas – diese beiden Etwasse – verdienten eine direktere Interaktion mit der Gemeinschaft. Die Gruppe setzte für den folgenden Monat gleichzeitige Präsentationen am Fermilab und an der Stanford University an, außerdem kleinere Informations-

veranstaltungen an den Universitäten und Instituten anderer Gruppenmitglieder. Sie hielten das Thema der dunklen Materie für interessant genug, um den Vorträgen eine gewisse Aufmerksamkeit zu sichern.

Sie hatten keine Ahnung.

Binnen weniger Tage beherrschten die Gerüchte über das Ergebnis das teilchenphysikalische Segment der Blogosphäre. Dunkle Materie entdeckt?!"⁴⁸⁴ "Ist dunkle Materie endlich auf der Erde entdeckt worden?"⁴⁸⁵ "Es wird gemunkelt, dass erste Teile der dunklen Materie gefunden wurden!"⁴⁸⁶ "¿Se ha descubierto lamateria oscura en el CDMS?"⁴⁸⁷ "Pátrání po supersymetrické skryté hmotě."⁴⁸⁸ "みんな大好き (か、どうかは分かりませんが) dunkle Materie を検出したという報告が出ています."⁴⁸⁹

Die Forschungsgruppe erkannte, dass sie durch die Entscheidung, alle Präsentationen auf denselben Tag zu legen, unabsichtlich den Eindruck hervorgerufen hatte, dass ein Augenblick bevorstand, der die wissenschaftliche Entwicklung in ein Vorher und ein Nachher unterteilen würde. Das war nicht der Fall. Allenfalls ein Eine-Art-Vorher-und-eine-Art-Nachher-aber-wir-werden-es-nicht-wirklich-wissen-bis-ein-anderes-Experiment-unsere-Resultate-bestätigt-und-selbst-dann-würde-die-heutige-Bekanntgabe-in-der-Rückschau-bestenfalls-als-Hinweis-auf-künftige-Detektionen-zu-werten-sein-Augenblick. Um die Erwartungen zu dämpfen, zogen sie die Fermilab- und Stanford-Präsentationen um einen Tag vor und setzten sie so von den eher inoffiziellen Informationsveranstaltungen ab.

Zu spät. Wenn sie ein Null-Resultat bekant gäben, so schrieb ein Blogger, "werden die Donnerstagsredner von einem wütenden Mob in Stücke gerissen und ihre Knochen den Undergrads zum Fraß vorgeworfen werden."⁴⁹⁰ Woraufhin ein "Anonymus" im Kommentarabschnitt dieser Website hinzufügte: "Unabhängig von den Gerüchten* weiß ich von einem sehr bekannten Physiker, dass die CDMS-Leute morgen tatsächlich die Entdeckung dunkler Materie verkünden werden." Ein Redakteur des *Discover Magazine* begleitete Cooleys Stehplatz-Präsentation mit einem Live-Blog und schickte die Mitteilung voraus: "Ich

* !

persönlich habe gerüchteweise gehört, dass sie null, eins, drei oder vier Signalereignisse entdeckt haben."⁴⁹¹

Nein, Nein, Nein und nochmals Nein.

"DIE ZAHL IST ZWEI!!!"

Oder wie Cooley umsichtig erklärte: "Die Ergebnisse dieses Experiments lassen sich nicht als signifikante Evidenz für WIMP-Wechselwirkungen interpretieren, aber wir können auch keinem der beiden Ereignisse den Signalstatus absprechen."⁴⁹² Sie hatten keine Detektion vorzuweisen. Sie hatten kein Null-Resultat vorzuweisen. Es war eine Weder-Noch-Schlussfolgerung, die dem Teil der Welt, dem an solchen Dingen gelegen war, eine Lektion erteilte, die Jodi Cooley, Bernard Sadoulet und ein gewisser Doktorand bereits auf die harte Tour gelernt hatten:

Wenn du es zulässt, bricht dir die dunkle Materie das Herz.

"Ich bin in das Axion verliebt!"⁴⁹³

Les Rosenberg war egal, ob es die Leute erfuhren. Wenn ihm danach war, machte er aus seinen Gefühlen keinen Hehl. Karl van Bibber – gut in Form: nie nahm er den Fahrstuhl, wenn Treppen zur Verfügung standen, sah aus wie Mr. Spock, im positiven Sinn – war ein bisschen zurückhaltender; das Wort, das er wiederholt verwendete, um seine Beziehung zum Axion zu kennzeichnen, war "fasziniert". Wie die Red Sox – und anders als das WIMP – schien das Axion eine gewisse Art blinder Ergebenheit und Underdog-Identifikation auszulösen.

Die natürliche mathematische Übereinstimmung zwischen dem Neutralino und dunkler Materie – die Häufigkeit der nach den Anfangsbedingungen übriggebliebenen Neutralinos mal der vorhergesagten Masse eines Neutralinos gleich die besten Schätzungen zur gegenwärtigen Dichte der dunklen Materie – hatte das Teilchen immer zum Lieblingskandidaten der Physiker gemacht. Doch je länger es unentdeckt blieb, desto bereitwilliger zog die Zunft Alternativen in Betracht. Das Axion mochte keine so offenkundige Übereinstimmung bieten, aber es passte durchaus ins Konzept.